

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
11. Januar 2007 (11.01.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/003637 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01N 29/02 (2006.01) H03H 3/007 (2006.01)

G01N 29/036 (2006.01) B81B 3/00 (2006.01)

G01N 33/00 (2006.01)

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GRAHMANN, Jan
[DE/DE]; Eggersdorferstr. 31, 10315 Berlin (DE);
STECKENBORN, Arno [DE/DE]; Stadtrandstr. 467 B,
13589 Berlin (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/063848

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. Juli 2006 (04.07.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2005 032 684.6 6. Juli 2005 (06.07.2005) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SIEMENS AKTIENGESellschaft [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

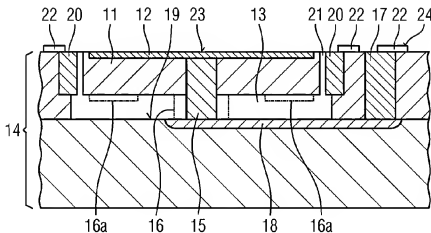
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP,
KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: RESONATOR-DETECTOR FOR THE ACOUSTIC IDENTIFICATION OF PARTICLES IN A GASEOUS ATMOS-
PHERE AND METHOD FOR THE DESIGN THEREOF

(54) Bezeichnung: RESONATOR-DETEKTOR ZUM AKUSTISCHEN NACHWEIS VON TEILCHEN IN EINER GASFÖRMI-
GEN ATMOSPHERE UND VERFAHREN ZU DESSEN AUSLEGUNG



(57) Abstract: The invention relates to a detector for identifying particles, especially gas molecules, that are added to an oscillatory system (11). According to the invention, the oscillatory system is formed by a plate resonator (11) to which a layer (12) is applied. The gas molecules to be identified are added to the layer (12), whereby the oscillating behaviour of the plate resonator (11) changes as a result of the material increase. Advantageously, a very high sensitivity up to the ppb range is reached as the inventive embodiment of the plate resonator (11) provided with a coating (12) enables oscillation modes, in which the plate resonator is not only deflected in the plane thereof, but also perpendicularly thereto, to be adjusted. The inventive plate resonator can be used, for example, in miniaturised gas analysis systems, in which the smallest gas quantities and concentrations must be identified. The inventive plate resonator can also be used as a fire detector.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/003637 A1



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), curasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Gegenstand der Erfindung ist ein Detektor zum Nachweis von Teilchen, insbesondere Gasmolekülen, die zu diesem Zweck auf einem schwingungsfähigen System (11) angelagert werden. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das schwingungsfähige System durch einen Plattenresonator (11) gebildet wird, auf dem eine Schicht (12) angebracht ist. Auf der Schicht (12) werden die nachzuweisenden Gasmoleküle angelagert, wodurch sich das Schwingungsverhalten des Plattenresonators (11) aufgrund der Massenzunahme verändert. Dabei wird vorteilhaft eine sehr hohe Empfindlichkeit bis in den ppb-Bereich erreicht, da sich aufgrund der erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Plattenresonators (11) mit einer Beschichtung (12) Schwingungsmoden einstellen, bei denen der Plattenresonator nicht nur in seiner Ebene ausgelenkt wird, sondern auch senkrecht zu dieser. Der erfindungsgemäße Plattenresonator kann beispielsweise in miniaturisierten Gasanalyse-Systemen Anwendung finden, in denen kleinste Gasmengen und insofern auch geringste Konzentrationen nachgewiesen werden müssen. Eine andere Anwendungsmöglichkeit ist die Verwendung als Brandmelder.

Beschreibung

RESONATOR-DETEKTOR ZUM AKUSTISCHEN NACHWEIS VON TEILCHEN IN EINER GASFÖRMIGEN ATMOSPHERE UND VERFAHREN ZU DESSEN AUSLEGUNG

5

Die Erfindung betrifft einen Detektor zum Nachweis von Teilchen, insbesondere Gasmolekülen oder auch Nanopartikeln in einer gasförmigen Atmosphäre, aufweisend ein schwingungsfähiges System mit einer Oberfläche, die spezifisch die nachzuweisenden Teilchen an sich binden kann, einen Anregungsmechanismus, der zur Schwingungsanregung Energie in das schwingungsfähige System einleiten kann und eine Schnittstelle zum Auslegen einer Messgröße, die sich abhängig von der Frequenz des schwingungsfähigen Systems ändert.

15

Ein derartiger Detektor ist als Brandschutzmelder, beispielsweise aus der EP 982 588 A1 bekannt. In diesem Brandschutzmelder kommt ein schwingungsfähiges System zur Anwendung, dessen Oberfläche mit einem molekular geprägten Polymer beschichtet ist (auch Molecular Imprinted Polymer genannt und im Folgenden mit MIP abgekürzt). Dieses wird derart hergestellt, dass während der Bildung der Polymerschicht die nachzuweisenden Partikel, z. B. Rauchgaspartikel in der Polymermatrix eingebettet werden und nach deren Aushärtung aus dieser Matrix herausgelöst werden. Die dadurch entstehenden Poren sind selektiv zur Aufnahme der bei der Herstellung eingebetteten Rauchgaspartikel geeignet, so dass sich im Falle des Auftretens von Rauch erneut Rauchgaspartikel in die betreffende Schicht einlagern. Dies verändert die Resonanzfrequenz des schwingungsfähigen Systems aufgrund der Massenzunahme.

Das schwingungsfähige System wird gemäß der EP 982 588 A1 durch einen Oberflächenwellengenerator gebildet. Dieser be-

2

steht aus auf der Oberfläche aufgebrachten Elektroden, die auf der Oberfläche des schwingungsfähigen Systems sich ausbreitende Wellen erzeugen. Je nach Beladungszustand der Beschichtung breiten sich diese Wellen (auch Surface Accoustic Waves, kurz SAW genannt) mit unterschiedlicher Geschwindigkeit aus. Die Laufgeschwindigkeit kann durch ein gegenüber dem aussendenden Elektrodenpaar angeordneten Elektrodenpaar ermittelt werden. Für Rauchgaspartikel können gemäß der EP 982 588 A1 Nachweisempfindlichkeiten bis in den ppb-Bereich erzeugt werden.

Detektoren der eingangs genannten Art werden auch zur Detektion von Gasmolekülen verwendet. Als Beschichtung kommen hierbei Polymerschichten zum Einsatz, an die bestimmte Gasmoleküle angelagert werden können. Hierbei ist die Massenzunahme verhältnismäßig geringer als bei der Anlagerung von Nanopartikeln, weswegen die derzeit erreichbaren Empfindlichkeiten für die Detektion von Gasmolekülen noch im zweistelligen ppm-Bereich liegen.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Detektor für Teilchen zu schaffen, der eine verbesserte Empfindlichkeit aufweist und daher auch eine hohe Empfindlichkeit für den Nachweis von Gasmolekülen besitzt.

Diese Aufgabe wird mit dem eingangs genannten Detektor erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das schwingungsfähige System durch einen Plattenresonator ausgebildet ist, der mit einer Schicht beschichtet ist, die die Oberfläche für die nachzuweisenden Teilchen zur Verfügung stellt. Die Auswahl eines Plattenresonators als schwingungsfähiges System hat den Vorteil, dass eine Miniaturisierung der Bauweise des Plattenresonators durch mikromechanische Verfahren einfach realisiert

werden kann. Dabei hat es sich überraschenderweise gezeigt, dass sich die Empfindlichkeit des Systems aufgrund der Miniatu-
risierung in einem sehr viel stärkeren Maße verzeichnen lässt, als dies bei einer Abnahme der Masse des schwingungs-
fähigen Systems aufgrund der Miniatu-
risierung hätte erwarten lassen. Zwar sind mikromechanisch hergestellte Systeme mit Plattenresonatoren beispielsweise durch Ville Kaajakari u.a. in "Square-Extensional Mode Single-Chrystal Silicon Microme-
chanical RF-Resonator", Transducers 2003, pp. 951- 954 und
durch Siavash Pourkamali in "SOI-Based HF and VHF Single-
Christal Silicon Resonators with Sub-100 Nanometer Vertical
Capacitiv Gaps", Transducers 2003, pp 837-840 beschrieben.
Jedoch sollen diese schwingungsfähigen Systeme eine möglichst
konstante Frequenz aufweisen, um in elektronischen Systemen
beispielsweise auf Leiterplatten als Taktgeber eingesetzt zu
werden. Im Unterschied hierzu zielt die erfindungsgemäße Ver-
wendung der mikromechanisch hergestellten Plattenresonatoren
darauf, eine möglichst empfindliche Abhängigkeit der Reso-
nanzfrequenzen des Plattenresonators von einer Veränderung
der schwingenden Masse zu erreichen. Hierdurch können nämlich
an die Beschichtung angelagerte Teilchen wie Gasmoleküle mit
einer hohen Empfindlichkeit nachgewiesen werden, so dass eine
Nachweisgenauigkeit auch bei Anwendungen für den Nachweis von
Gasmolekülen vorteilhaft in den ppb-Bereich gelangt.

25

Der überraschende Effekt einer überdimensionalen Steigerung
der Empfindlichkeit lässt sich darauf zurückführen, dass die
Beschichtung auf dem Plattenresonator die Eigenschwingungs-
formen, die durch eine Anregung erreicht werden können, stark
beeinflusst. Hierbei sind Eigenschwingungsformen (Moden) zu
erreichen, die eine mehrfache Verwindung des Plattenresona-
tors in sich aufweisen und so zu wesentlich stärker ausge-
prägten Schwingungsformen führen, als dies bei den in den ge-

4

nannten Aufsätzen beschriebenen Schwingungen der Fall ist. Diese komplexen Moden reagieren hinsichtlich ihrer Resonanzfrequenzen auch wesentlich empfindlicher auf eine Veränderung der Masse des Plattenresonators, wodurch die hohe Empfindlichkeit des Detektors zu erklären ist.

Weiterhin steigern die beobachteten Schwingungsmoden überraschenderweise auch die Dämpfung des Plattenresonators in der Gasatmosphäre in wesentlich geringerem Maße, als die durch die Schwingungsbewegung zu erwarten wäre. Dies lässt sich damit erklären, dass die Schwingungsmoden zu Verformungszuständen des Plattenresonators führen, die es nicht erforderlich machen, dass die an die Oberflächen des Plattenresonators angrenzenden Luftschichten komplett verdrängt werden, sondern die eine jeweilige lokale Verschiebung der Galmoleküle der angrenzenden Gasschichten zwischen den schwingenden Arealen des Plattenresonators erlauben. Dadurch wird die Gasbewegung an der Grenzfläche des Plattenresonators verringert, weswegen dem schwingenden Plattenresonator auch ein geringerer Energiebetrag entzogen wird (dies bedeutet eine geringere Luftdämpfung). Diese Zusammenhänge werden im Folgenden anhand der graphischen Darstellungen in der Zeichnung näher erläutert.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Plattenresonator insbesondere eine zentralsymmetrische Oberseite aufweist und im Flächenschwerpunkt mit einer säulenartigen Aufhängung gehalten ist. Diese Aufhängung lässt sich mit dem Stamm eines Baumes vergleichen, wobei der Plattenresonator dann so zu sagen die Baumkrone bildet. Der insbesondere zentralsymmetrische Aufbau des Plattenresonators kann beispielsweise durch eine quadratische oder runde Oberfläche gewährleistet sein. Mit der säulenartigen Aufhängung lässt sich vorteilhaft ein schwingungsfähiges

5

System erzeugen, deren Aufhängung verhältnismäßig steif ist und gleichzeitig das Schwingungsverhalten des Plattenresonators aufgrund der punktuellen Ausdehnung wenig beeinflusst. Dies ermöglicht die weitgehend ungestörte Ausbildung der bereits erwähnten Schwingungsmoden.

Gemäß einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Plattenresonator am Rand mit einer oder mehreren gleichmäßig verteilten stegartigen Aufhängungen in einer Vertiefung gehalten ist. Die stegartigen Aufhängungen bilden somit so zu sagen Brücken zwischen dem Plattenresonator und dem Rand der Vertiefung aus, wobei der Plattenresonator bezüglich des Vertiefungsbodens derart gehalten ist, dass er diesen bei der Ausbildung der Schwingungsbewegungen nicht berührt. Die gleichmäßige Unterbringung der stegartigen Aufhängungen unterstützt die Ausbildung von Schwingungsmoden, die aufgrund der homogenen Materialeigenschaften des Plattenresonators regelmäßige Geometrien aufweisen. Die stegartigen Aufhängungen lassen sich vorteilhaft sehr einfach herstellen, wenn der Plattenresonator mikromechanisch in Ätztechnologie erzeugt wird, da die stegartigen Aufhängungen auf einfache Weise durch Ätzen aus den vollen Basismaterialien erzeugt werden können.

Gemäß einer besonderen Ausgestaltung ist vorgesehen, dass der Plattenresonator in einen Schichtverband integriert ist, wobei der Plattenresonator durch eine der Schichten gebildet ist. Der Aufbau des Plattenresonators und seiner Umgebung in Schichtform hat den Vorteil, dass dies einer mikromechanischen Herstellung des Detektors entgegen kommt. Die Schichten können abhängig vom Fertigungsverfahren unterschiedliche Eigenschaften aufweisen, so dass sich beispielsweise die Schicht, die unter dem Plattenresonator liegt, auf einfache

Weise durch eine Ätzbehandlung entfernen lässt. Weiterhin können Ätzschritte durchgeführt werden, die vor einer Endmontage des Schichtverbandes zu dem Schichtstapel erfolgen.

- 5 Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn in dem Detektor der Anregungsmechanismus durch Elektroden gebildet wird, die unter Ausbildung eines Spaltes dem Rande des Plattenresonators benachbart angeordnet sind. Insbesondere bietet sich diese Konstruktion an, wenn der Plattenresonator in einer Vertiefung
10 des Substrats, in der er hergestellt wird, befindlich ist. Die Elektroden können dann in die die Vertiefung tragende Struktur integriert werden.

- Das Funktionsprinzip der Elektroden als Anregungsmechanismus
15 beruht auf elektrostatischen Kräften, die aufgrund der Ausbildung des elektrostatischen Feldes in Nachbarschaft der Elektroden und dessen Überschneidung mit dem Material des Plattenresonators zurückzuführen ist.

- 20 Weiterhin kann der Anregungsmechanismus vorteilhaft auch durch einen Piezokristall gebildet werden, der seine Schwingungen über den Aufhängungsmechanismus auf den Plattenresonator überträgt. Dies hat den Vorteil, dass eine Krafteinleitung direkt an der Aufhängung des Plattenresonators erfolgt,
25 wodurch sich die Ausbildung der Schwingungsmoden unterstützen lässt. Der oder die Piezokristalle können alternativ aber auch als Schicht auf dem Plattenresonator aufgebracht sein, so dass eine Schwingungsanregung vorteilhaft beispielsweise in die Unterseite des Plattenresonators eingeleitet werden kann.
30 Beispiele für Piezokristalle als Anregungsmechanismus finden sich in G. Piazza et al. „Single-Chip Multiple-Frequency Filters based on Contour-Mode Aluminum Nitride piezoelectric micromechanical Resonators“, 13th International Conference on

Solid State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2005) Seoul, Korea June 2005.

Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Auslegen
5 des Schwingungsverhaltens eines Detektors, wie dieser vorstehend beschrieben wurde. Hierdurch wird die genannte Aufgabe dahingehend gelöst, dass durch eine gezielte Auslegung unter Berücksichtigung der besonderen Gegebenheiten der konstruktiven Ausgestaltung des Plattenresonators in der beschriebenen
10 Weise die Empfindlichkeit des Detektors optimiert werden kann.

Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass durch Variation der Schichtdicke der Schicht ein Optimum für die Nachweis-
15 empfindlichkeit des Detektors ermittelt wird. Bei der Auslegung des Plattenresonators wird damit dem Umstand Rechnung getragen, dass die erfindungsgemäß auf den Plattenresonator aufgebraachte Schicht das schwingungsfähige System an sich dämpft, wobei die Dämpfungswirkung um so größer wird, je dicker die Schicht ausgeführt ist. Demgegenüber steht jedoch
20 der bereits erwähnte überraschende Effekt, dass die Aufbringung der Schicht auf den Plattenresonator bewirkt, dass die sich bei einer Anregung ausbildenden Eigenschwingungsformen nur einen geringen weiteren Anstieg der Dämpfung durch die angrenzenden Gasmoleküle bewirken. Da die Dämpfung aufgrund
25 der Gasmoleküle im Verhältnis zur Dämpfung aufgrund der Anbringung der Schicht keinen großen Einfluss auf die Dämpfung bildet, kann die Auslegung der Schichtdicke der Schicht vorrangig von deren jeweils zu ermittelnden Einfluss auf die
30 Schwingungsmoden erfolgen, so lange sich die Schwingungsmoden hinsichtlich einer größeren Nachweisempfindlichkeit aufgrund einer stärkeren Abhängigkeit des Schwingungsverhaltens von angelagerten Teilchen positiv auswirken. Die Vergrößerung der

Dämpfung aufgrund der Schichtdicke kann dabei hingenommen werden, da das Gesamtergebnis der resultierenden Detektorempfindlichkeit sich insgesamt verbessert. Ein Optimum kann beispielsweise mit Finite Elemente-Methoden berechnet werden.

- 5 Soweit die konstruktive Ausgestaltung des Detektors von den Berechnungen abweicht, kann durch die verhältnismäßig einfach durchzuführende Variation der Schichtdicke der Schicht iterativ das reale Optimum der Nachweisempfindlichkeit aufgefunden werden, ohne dass die Konstruktion des Plattenresonators
10 selbst verändert werden müsste. Auch kann ohne großen Aufwand mit unterschiedlichen Schichtmaterialien experimentiert werden.

- Weitere Einzelheiten der Erfindung werden nachfolgend anhand
15 schematischer Ausführungsbeispiele beschrieben. In den Figuren werden gleiche oder sich entsprechende Elemente jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen und nur insoweit mehrfach erläutert, wie sich Unterschiede zwischen den einzelnen Figuren ergeben. Es zeigen

20

Figur 1 einen Schnitt durch den erfindungsgemäßen Detektor mit einer zentralen Aufhängung,

- 25 Figur 2 die Aufsicht auf ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Detektors mit einer stegartigen Aufhängung an den Ecken, und

- Figur 3 bzw. 4 verschiedene Schwingungsmoden eines Ausführungsbeispiels des in dem erfindungsgemäßen
30 Detektor zum Einsatz kommenden Plattenresonators mit zentraler Aufhängung.

Gemäß Figur 1 ist ein Detektor für Gasmoleküle dargestellt, der aus einem Plattenresonator 11 besteht, wobei der Plattenresonator eine Schicht 12 trägt, auf der die nachzuweisenden Gasmoleküle angelagert werden (nicht dargestellt). Der Plattenresonator 11 ist in einer Vertiefung 13 untergebracht, die in Ätztechnologie in einem Schichtverband 14 ausgebildet ist. In der Vertiefung 13 ist der Plattenresonator 11 auf einer säulenartigen Aufhängung 15 gelagert, so dass die sich zum Rand des Plattenresonators 11 erstreckenden Areale frei schwingen können.

Alternativ kann die säulenartige Aufhängung auch durch einen lediglich strichpunktiert dargestellten Piezokristall 16 gebildet sein, der in diesem Fall den auf ihm ruhenden Plattenresonator 11 zu Schwingungen anregen kann. Piezokristalle 16a können gemäß einer anderen Alternative auch an der Unterseite (der Schicht 12 gegenüberliegend) des Plattenresonators angebracht sein, um eine flächige Schwingungsanregung des Plattenresonators zu bewirken.

Die säulenartige Aufhängung 15 bildet gleichzeitig eine Elektrode, welche über eine Durchkontaktierung 17 in der oberen Schicht des Schichtverbandes 14 und eine Leitstrecke 18 in der unteren Schicht des Schichtverbandes 14, die gleichzeitig den Boden 19 der Vertiefung bildet, elektrisch kontaktierbar ist. Weitere Elektroden 20 sind in den Rand der Vertiefung 13 integriert und den Seitenkanten des Plattenresonators 11 unter Bildung eines Spaltes 21 benachbart. Um den Plattenresonator 11 zu Schwingungen anzuregen, können die Elektroden 20 sowie die säulenartige Aufhängung 15 über Leiterbahnen 22, die auf der Oberseite des Schichtverbandes 14 verlaufen, mit einer Wechselspannungsquelle verbunden werden.

10

Alternativ kann die säulenartige Aufhängung 15 auch geerdet werden.

Sobald sich an der Oberfläche 23 der Schicht 12 Gasmoleküle anlagern, verändert sich aufgrund einer Veränderung der schwingenden Masse des Plattenresonators 11 dessen Resonanzfrequenz. Die Verschiebung der Resonanzfrequenz kann beispielsweise dadurch gemessen werden, dass durch Modifikation der Anregung die neue Resonanzfrequenz aufgefunden wird. Eine andere Möglichkeit ist die Ermittlung der aufgrund der Verschiebung der Resonanzfrequenz resultierenden Vergrößerung der Dämpfung. Aus der Dämpfung bzw. aus der Verschiebung der Resonanzfrequenz kann weiterhin auf die Erhöhung der schwingenden Masse des Plattenresonators 11 und damit auf die Masse der angelagerten Teile rückgeschlossen werden.

Damit bilden die Leiterbahnen 22 auch eine Schnittstelle 24 zur Ermittlung des Detektionsergebnisses.

Der Figur 2 kann ein alternativer Aufbau des Plattenresonators 11 entnommen werden. Dieser besitzt eine quadratische Fläche, die an ihren vier Ecken jeweils mit einer stegartigen Aufhängung 25 versehen ist. Dabei ist der gesamte Aufbau des Detektors zentralsymmetrisch ausgebildet. Mit den stegartigen Aufhängungen 25 wird der Plattenresonator 11 in der Vertiefung 13 in der Schwebe gehalten, so dass dieser den nicht zu erkennenden Boden der Vertiefung 13 nicht berührt. Die Schicht 12 ist entsprechend dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 auf der Oberfläche des Plattenresonators 11 angebracht.

Eine Anregung des Plattenresonators gemäß Figur 2 erfolgt über die Elektroden 20, die sich jeweils entlang den Seitenkanten des quadratischen Plattenresonators 11 erstrecken.

11

Durch eine geeignete Schaltung der Elektroden 20 wird eine Schwingungsanregung für den Plattenresonator 11 erreicht, mit dem sich die gewünschten Schwingungsmoden erzeugen lassen.

- 5 In den Figuren 3 und 4 sind die Schwingungsmoden erster und zweiter Ordnung eines quadratischen Plattenresonators gemäß Figur 1 stark überhöht dargestellt. Anders als bei den Schwingungsformen, die gemäß der vorstehend erwähnten Veröffentlichungen von Kaajakari und Pourkamali lediglich in der Ebene der Ausdehnung des Plattenresonators ausgebildet sind, werden die Elemente des Plattenresonators gemäß den Figuren 3 und 4 nicht nur in der x-y-Ebene der Ausdehnung des Plattenresonators 11 erreicht, sondern es erfolgt auch eine Auslenkung in z-Richtung. Das Koordinatensystem ist in der linken, unteren Ecke des Plattenresonators 11 dargestellt. Eine Kontur 26 des unverformten Plattenresonators ist ebenfalls dargestellt, um den Verformungszustand des Plattenresonators zu verdeutlichen. Weiterhin ist ein Bereich 27, in der die Aufhängung 15 auf der gegenüberliegenden, nicht dargestellten Seite des Plattenresonators angreift, durch eine strichpunkt-
- 10 tertierte Linie angedeutet. Für ausgewählte Punkte des Plattenresonators wird weiterhin die x-Komponente, die y-Komponente und die z-Komponente dargestellt, wodurch noch einmal hervor-
- 15 gehoben wird, dass die Auslenkung der Elemente des Plattenresonators auch in z-Richtung erfolgt.
- 20
- 25

- Figur 3 stellt den Schwingungsmode des Plattenresonators 11 erster Ordnung dar. Dieser lässt sich näherungsweise so beschreiben, dass der quadratische Resonator an zwei gegenüber
- 30 liegenden Seiten eingeschnürt wird und die beiden anderen gegenüber liegenden Seiten auseinander gedrückt werden (Bewegungen in der Ebene des Plattenresonators). Weiterhin werden die jeweils sich gegenüber liegenden Kanten des Plattenreso-

nators in jeweils entgegengesetzter z-Richtung aus der Ebene des Plattenresonators heraus bewegt. Hierbei wird deutlich, dass gesehen über die gesamte Platte die Auslenkungen in der z-Achse näherungsweise aufheben, wodurch das Gas an der

5 Grenzschicht des Plattenresonators nicht vollständig verdrängt werden muss, sondern lediglich zwischen den einzelnen Bereichen der Platte verschoben werden muss. Hierdurch lässt sich die geringe Dämpfung der Schwingungen des Plattenresonators erklären.

10

Bei dem Schwingungsmode des Plattenresonators gemäß Figur 4 handelt es sich um den Schwingungsmode zweiter Ordnung. Dieser lässt sich vereinfacht beschreiben, wenn man den quadratischen Plattenresonator in vier Quadranten teilt. Jeder dieser Quadranten bildet in seiner Mitte einen Bauch, in dem die

15 Elemente des Plattenresonators in positive z-Richtung ausgelenkt werden. Demgegenüber werden die jeweiligen Ecken des Quadranten in negativer z-Richtung ausgelenkt. Insgesamt ist somit die Auslenkung in z-Richtung ähnlich wie bei dem

20 Schwingungsmode gemäß Figur 3 ausgeglichen, wobei sich die Ausgeglichenheit auf jeden der Quadranten bezieht. Daher sind die Areale, in denen die an den Plattenresonator angrenzenden Gasmoleküle verschoben werden müssen, vorteilhaft noch kleiner, als bei dem Schwingungsmode gemäß Figur 3, wodurch die

25 Dämpfung bei den Schwingungen des Plattenresonators weiter verringert werden.

Patentansprüche

1. Detektor zum Nachweis von Teilchen, insbesondere Gasmolekülen, in einer gasförmigen Atmosphäre, aufweisend
- 5 - ein schwingungsfähiges System mit einer Oberfläche (23), die spezifisch die nachzuweisenden Teilchen an sich binden kann,
- einen Anregungsmechanismus (16, 20), der zur Schwingungsanregung Energie in das schwingungsfähige System einleiten
- 10 kann und
- eine Schnittstelle (24) zum Auslesen einer Messgröße, die sich abhängig von der Frequenz des schwingungsfähigen Systems ändert,
- dadurch gekennzeichnet,
- 15 dass das schwingungsfähige System durch einen in mikromechanischer Bauweise ausgeführten Plattenresonator (11) ausgebildet ist, der mit einer Schicht (12) beschichtet ist, die die Oberfläche (23) für die nachzuweisenden Teilchen zur Verfügung stellt.
- 20
2. Detektor nach Anspruch 1,
- dadurch gekennzeichnet,
- dass der Plattenresonator (11) im Flächenschwerpunkt mit einer säulenartigen Aufhängung (15) gehalten ist.
- 25
3. Detektor nach Anspruch 1,
- dadurch gekennzeichnet,
- dass der Plattenresonator (11) am Rand mit einer oder mehreren gleichmäßig verteilten stegartigen Aufhängungen (15) in
- 30 einer Vertiefung (13) gehalten ist.

14

4. Detektor nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Plattenresonator in einen Schichtverband (14) integriert ist, wobei der Plattenresonator durch eine der Schichten gebildet ist.
5. Detektor nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Anregungsmechanismus durch Elektroden (20) gebildet wird, die unter Ausbildung eines Spaltes (21) dem Rande des Plattenresonators (11) benachbart angeordnet sind.
6. Detektor nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Anregungsmechanismus durch einen Piezokristall (16) gebildet ist, der seine Schwingungen über den Aufhängungsmechanismus auf den Plattenresonator (11) überträgt.
7. Detektor nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Anregungsmechanismus durch mindestens einen Piezokristall (16a) gebildet ist, der als Schicht auf dem Plattenresonator (11) aufgebracht ist.
8. Verfahren zum Auslegen des Schwingungsverhaltens eines Detektors nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass durch Variation der Schichtdicke (12) ein Optimum für die Nachweisempfindlichkeit des Detektors ermittelt wird.

FIG 1

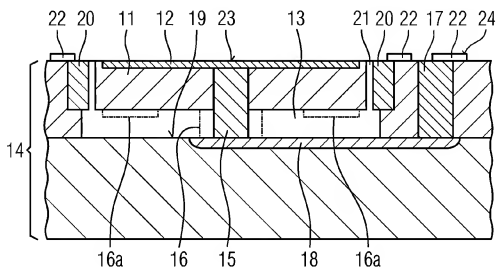


FIG 2

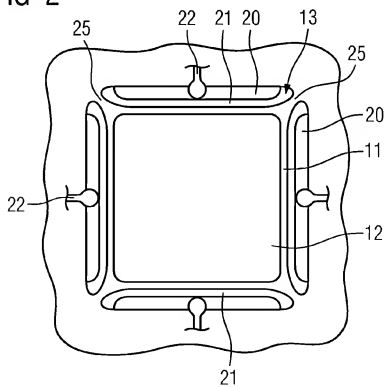


FIG 3

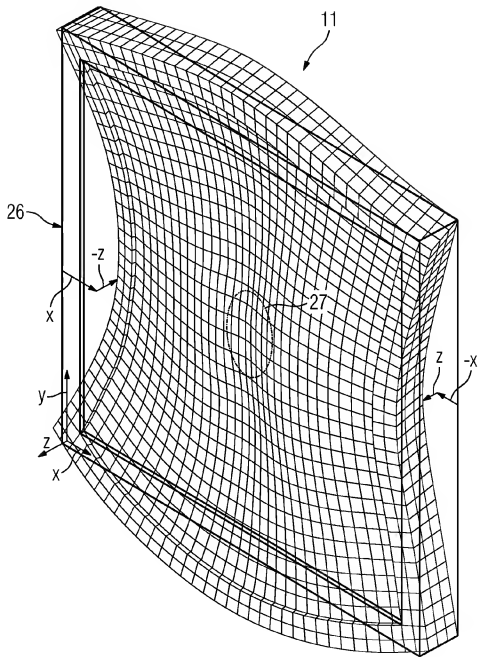
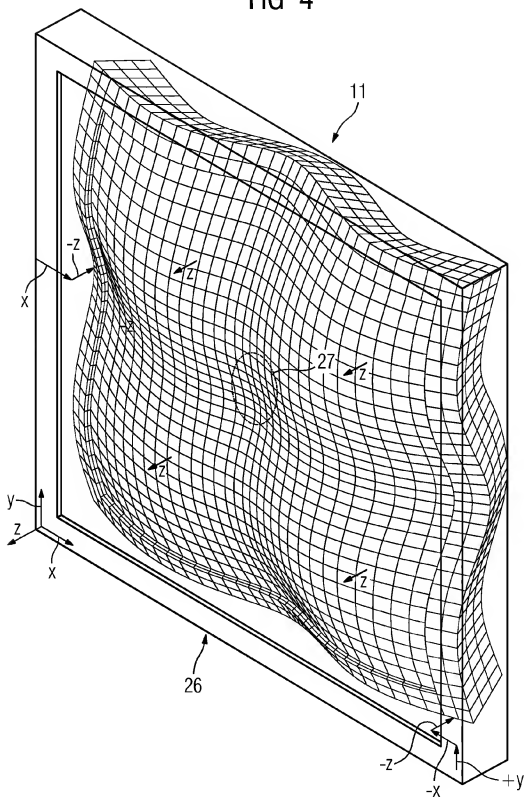


FIG 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2006/063848

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
INV. G01N29/02	G01N29/036	G01N33/00 H03H3/00 B81B3/00
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01N H03H B81B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 910 286 A (LIPSKIER ET AL) 8 June 1999 (1999-06-08) abstract; figures 2A,2B,3	1,4,7
Y		2,3,5
A	column 4, line 27 - column 5, line 21	6,8
X	GRATE AND FRYE: "Acoustic Wave Sensors" SENSORS UPDATE, 1996, pages 37-83, XP002205093	1
Y	abstract; figures 2.1,2.4 page 47, paragraph 1 - page 48, paragraph 1 page 57, last paragraph - page 59, paragraph 3	2,3
	----- -/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "A" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 5 October 2006		Date of mailing of the international search report 12/10/2006
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Uttenhaler, Erich

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International application No
 PCT/EP2006/063848

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	<p>KAAJAKARI V ET AL: "Square-extensional mode single-crystal silicon micromechanical rf-resonator" TRANSDUCERS, SOLID-STATE SENSORS, ACTUATORS AND MICROSYSTEMS, 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2003, PISCATAWAY, NJ, USA,IEEE, vol. 2, 9 June 2003 (2003-06-09), pages 951-954, XP010647855 ISBN: 0-7803-7731-1 cited in the application abstract; figures 1,2 page 951, left-hand column, lines 1,2 page 954, left-hand column, paragraph 3</p>	2
Y	<p>POURKAMALI S ET AL: "SOI-based rf and vhf single-crystal silicon resonators with sub-100 nanometer vertical capacitive gaps" TRANSDUCERS, SOLID-STATE SENSORS, ACTUATORS AND MICROSYSTEMS, 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2003, PISCATAWAY, NJ, USA,IEEE, vol. 1, 9 June 2003 (2003-06-09), pages 837-840, XP010646838 ISBN: 0-7803-7731-1 cited in the application abstract; figures 1,2,7 page 837, left-hand column, last paragraph - right-hand column, paragraph 1</p>	3
Y	<p>US 2002/105393 A1 (CLARK JOHN R ET AL) 8 August 2002 (2002-08-08) abstract; figures 1a,1b paragraphs [0046], [0049]</p>	2,5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2006/063848

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5910286	A	08-06-1999	EP 0756707 A1
			FR 2730810 A1
			WO 9626435 A1
			JP 9512345 T
			05-02-1997
			23-08-1996
			29-08-1996
			09-12-1997
US 2002105393	A1	08-08-2002	US 6856217 B1
			15-02-2005

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2006/063848

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. G01N29/02	G01N29/036	G01N33/00 H03H3/00 B81B3/00
Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01N H03H B81B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
X	US 5 910 286 A (LIPSKIER ET AL) 8. Juni 1999 (1999-06-08)	1,4,7
Y	Zusammenfassung; Abbildungen 2A,2B,3	2,3,5
A	Spalte 4, Zeile 27 - Spalte 5, Zeile 21	6,8
X	GRATE AND FRYE: "Acoustic Wave Sensors" SENSORS UPDATE, 1996, Seiten 37-83, XP002205093	1
Y	Zusammenfassung; Abbildungen 2.1,2.4 Seite 47, Absatz 1 - Seite 48, Absatz 1 Seite 57, letzter Absatz - Seite 59, Absatz 3	2,3
	----- -/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders vorteilhaft anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelsfrei erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen in Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindnerischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindnerischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
5. Oktober 2006		12/10/2006
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchebehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2230 HW Rijswijk Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 apo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Uttenthaler, Erich

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
Y	<p>KAJAKARI V ET AL: "Square-extensional mode single-crystal silicon micromechanical rf-resonator" TRANSDUCERS, SOLID-STATE SENSORS, ACTUATORS AND MICROSYSTEMS, 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2003, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, Bd. 2, 9. Juni 2003 (2003-06-09), Seiten 951-954, XP010647855 ISBN: 0-7803-7731-1 in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 Seite 951, linke Spalte, Zeilen 1,2 Seite 954, linke Spalte, Absatz 3</p>	2
Y	<p>POURKAMALI S ET AL: "SOI-based rf and vhf single-crystal silicon resonators with sub-100 nanometer vertical capacitive gaps" TRANSDUCERS, SOLID-STATE SENSORS, ACTUATORS AND MICROSYSTEMS, 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2003, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, Bd. 1, 9. Juni 2003 (2003-06-09), Seiten 837-840, XP010646838 ISBN: 0-7803-7731-1 in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,7 Seite 837, linke Spalte, letzter Absatz - rechte Spalte, Absatz 1</p>	3
Y	<p>US 2002/105393 A1 (CLARK JOHN R ET AL) 8. August 2002 (2002-08-08) Zusammenfassung; Abbildungen 1a,1b Absätze [0046], [0049]</p>	2,5

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/063848

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5910286	A	08-06-1999	EP	0756707 A1	05-02-1997
			FR	2730810 A1	23-08-1996
			WO	9626435 A1	29-08-1996
			JP	9512345 T	09-12-1997
US 2002105393	A1	08-08-2002	US	6856217 B1	15-02-2005